

Контроль формы наконечника наноиндентора с помощью пьезорезонансного зонда с тестовой решёткой

А.А. Русаков¹, Е.В. Гладких¹, К.С. Кравчук¹, Т.В. Казиева², С.В. Норкин², В.Н. Решетов²

¹*ФГБНУ ТИСНУМ, 108840, Троицк, Москва, Россия*
Alexey.A.Rusakov@yandex.ru

²*НИЯУ МИФИ, 115409, Москва, Россия*

Контроль формы алмазного пирамидального наконечника можно проводить с помощью пьезорезонансного зонда с тестовой решёткой. Рассмотрены факторы, влияющие на ошибку определения истинной формы острия наконечника и возможные способы её минимизации.

Shape verification of the nanoindenter's tip using a piezoresonance probe with a test grating

A.A. Rusakov¹, E.V. Gladkikh¹, K.S. Kravchuk¹, T.V. Kazyeva², S.V. Norkin², V.N. Reshetov²

¹*FSBI TISNCM, 108840, Troitsk, Moscow, Russia*

²*NRNU MEPhI, 115409, Moscow, Russia*

Shape verification of the diamond pyramidal tip can be carried out using a piezoresonance probe with a test grating. Factors influencing the tip's true shape determination error and possible ways of its reducing are considered.

Определение формы наконечника (индентора) – важная часть процедуры калибровки инструментальных нанотвердомеров, сильно влияющая на точность проводимых измерений. Для её контроля придумано множество прямых и косвенных методов [1]. Наиболее важной и трудной для определения формы частью индентора является его остриё. Форма острия отличается от идеальной пирамиды из-за особенностей процедуры огранки и изнашивания острия в процессе проведения индентационных испытаний. Для проведения корректных измерений твёрдости и модуля упругости в субмикронном диапазоне глубин погружения индентора требуется определение формы его острия с нанометровой точностью. Логичным для решения данной задачи является использование АСМ для характеристики формы индентора. Такого рода исследования с использованием метрологических АСМ, сопряжённых с трёхкоординатным лазерным гетеродинным интерферометром, проводились неоднократно. Опыт, полученный при такого рода исследованиях, позволил поставить вопрос о разработке специализированного компактного измерительного модуля, способного производить прецизионные измерения формы индентора в составе стандартного нанотвердомера любого производителя.

Типичный пьезокерамический зонд камертонной конструкции, используемый в сканирующих нанотвердомерах семейства НаноСкан, имеет рабочую длину биморфных веточек камертона 5 мм, ширину 2 мм и толщину 1 мм. Такого рода зонд допускает установку стандартной тестовой решётки типа TGZ или TGT (размером 5x5x0,5 мм) непосредственно на кончике веточки камертона. Размещение такого зонда на трёхкоординатном нанопозиционере позволяет оперативно получать изображения острия индентора просто установив такой измерительный модуль в качестве тестового образца и подведя исследуемое острие к поверхности тестовой решётки.

Оптимальным вариантом используемого тестового объекта является решётка типа TGT, содержащая массив находящихся на расстоянии 3 мкм кремниевых острий с хорошим аспектным отношением и радиусом кривизны кончика менее 10 нм. Типичная картина, получающаяся в ходе сканирования таким пьезорезонансным зондом алмазного индентора в форме пирамиды Берковича, представлена на Рисунке 1. Высота острий, расположенных на решётке TGT, не превышает 0,5 мкм, и этот фактор ограничивает

размер контролируемой таким образом области алмазного индентора. Для контроля функции формы на больших глубинах нужны тестовые структуры с большей глубиной и меньшим периодом [2].

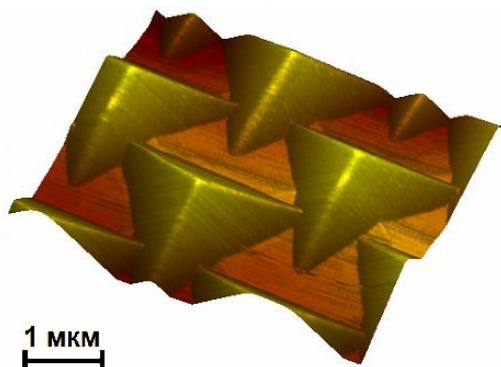


Рисунок 1. СЗМ-изображение алмазной пирамиды.

Предложенный метод контроля формы индентора предполагает неизменность зондирующих остриёв, участвующих в процессе сканирования формы алмазного индентора. Учитывая тот факт, что индентор является алмазным, вполне реальным в ходе сканирования становится износ кремниевого зондирующего острия. Простейшим способом проверки произошедшего износа может быть повторное сканирование индентора областью решетки, превышающей по размеру первую, и включающую её в качестве средней области.

Истирание остриёв в ходе сканирования является одним из факторов, искажающих истинную форму индентора. Как было показано в [3], для пьезорезонансных зондов, используемых в приборах НаноСкан, наиболее действенным методом уменьшения скорости износа тестовых остриёв является уменьшение амплитуды колебаний зонда и снижение уровня прижима зонда к индентору, то есть рабочего сдвига резонансной частоты камертонного зонда.

Величина допустимого уровня прижима задается формулой $\frac{\Delta f}{f_0} < \frac{R^{\frac{5}{2}}}{k_0 A^{\frac{3}{2}}} \frac{H^4}{E^{*3}}$ и для кремниевых остриёв приводит к оценке $\Delta f/f_0 < 10^{-4}$, что вполне достижимо для НаноСкан.

Вторым фактором, влияющим на определяемую таким способом форму острия индентора, является ошибка, обусловленная тем, что в процессе сканирования зондирующее остриё касается поверхности алмазного индентора разными участками своей поверхности. Учитывая типичную величину радиуса кривизны остриёв решётки TGT (10 нм) и угла заточки индентора Берковича (65,3°), данная ошибка может достигать 10 нм и требует учёта при определении истинной функции формы алмазного индентора. В случае стачивания острия ошибка становится еще больше, приводя к завышению функции площади исследуемого индентора. К сожалению, устранение данной методической ошибки в такого рода измерениях невозможно только на основе результатов сканирования формы индентора.

Одним из путей преодоления данного вида неопределенности при измерении формы индентора является использование определенного рода предположений о форме индентора и верификация модельных представлений по результатам сканирования линейных структур с точно известными линейными размерами типа решеток TGZ [2].

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ № 15-08-06298.

1. А. Усеинов, К. Кравчук, К. Гоголинский, *Наноиндустрия* **40**, 2, 38 (2013).
2. К.В. Гоголинский, К.Л. Губский, А.П. Кузнецов и др. *Измерительная техника* **4**, 18 (2012).
3. К.В. Гоголинский, И.И. Маслеников, В.Н. Решетов, А.С. Усеинов *Приборы и техника эксперимента* **5**, 90 (2013).